

На правах рукописи

НЫРКОВА Ольга Александровна

**МИКРОПРОЦЕССОРНЫЙ АНАЛИЗАТОР
ВЛАЖНОСТИ ДРЕВЕСИНЫ
ПО ВОЛЬТ-АМПЕРНЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ**

Специальность 05.11.13 – Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Тамбов 2004

Работа выполнена на кафедре «Электрооборудование и автоматизация» Тамбовского государственного технического университета.

Научный руководитель
тор технических наук, профессор

Заслуженный изобретатель РФ,
Глинкин Евгений Иванович

док-

Официальные оппоненты: доктор химических наук, профессор
Килимник Александр Борисович

кандидат технических наук
Суслин Михаил Алексеевич

Ведущая организация Акционерное общество закрытого типа
«Тамбовмебель» (г. Тамбов)

Защита диссертации состоится 30 ноября 2004 г. в 13 ч 00 мин на заседании диссертационного совета Д.212.260.01 Тамбовского государственного технического университета по адресу: 392000, г. Тамбов, ул. Советская, 106, ТГТУ, Большой зал.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные гербовой печатью, просим направлять по адресу: 392000, г. Тамбов, Советская, 106, ТГТУ, ученому секретарю диссертационного совета.
fax: (0752) 72-18-13, тел.: (0752) 53-56-20,
e-mail: kafedra@asp.tstu.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Тамбовского государственного технического университета.

Автореферат разослан 30 октября 2004 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



А.А. Чуриков

Подписано к печати 28.10.2004
Гарнитура Times New Roman. Формат 60 × 84/16. Бумага офсетная
Печать офсетная. Объем: 0,93 усл. печ. л.; 0,9 уч.-изд. л.
Тираж 100 экз. С. 728

Издательско-полиграфический центр ТГТУ
392000, Тамбов, Советская, 106, к. 14

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Повышение точности контроля влажности древесины в деревообрабатывающей, пищевой и других отраслях промышленности является актуальной задачей. Влажность служит показателем качества материала, характеризуя его чистый вес, оказывает большое влияние на технологические свойства древесины.

В настоящее время наиболее точным является контроль влажности древесины, реализуемый электрофизическими методами в микропроцессорных измерительных системах. Разработка микропроцессорного анализатора влажности невозможна без математической модели, аппроксимирующей нелинейную вольт-амперную характеристику (ВАХ) преобразователя по параметрам и оптимизационным алгоритмам, устраняющим воздействия дестабилизирующих факторов.

Среди известных методов экспресс-анализа влажности древесины для автоматизации широко применяются кондуктометрические методы, для которых характерен узкий диапазон контроля и низкая точность измерений из-за отсутствия математических моделей, корректно описывающих физико-химические процессы, и параметров, однозначно определяющих влажность пробы. Определение влажности без учета нелинейности ВАХ преобразователя осуществляется по электрическому сопротивлению, которое зависит от режимных и измеряемых величин, что требует усложнения алгоритмов вычислений и непрерывной коррекции влажности на неперекрывающихся диапазонах. Это приводит к использованию технических средств с жесткой структурой.

В отличие от кондуктометрических методов определение влажности методом высушивания осуществляется с высокой точностью измерения, поэтому последний перспективен при создании метрологических средств микропроцессорных анализаторов. Однако отсутствие электрофизической зависимости, связывающей измеряемые и электрические величины, не позволяет повысить экспрессность метода высушивания.

Следовательно, актуальным является разработка методики экспресс-анализа влажности по параметрам ВАХ преобразователя для создания микропроцессорного анализатора с заданной точностью.

Предмет исследования. Аналитическое моделирование вольт-амперных характеристик электрофизического контроля влажности древесины. Метрологическая оценка аналитического моделирования и алгоритмов контроля влажности. Новая методика определения влажности. Разработка аппаратных средств и программного обеспечения микропроцессорного анализа влажности.

Цель работы. Разработать методику проектирования микропроцессорного анализатора влажности древесины с заданной точностью по вольт-амперным характеристикам.

Задачи работы:

- анализ методов определения влажности для выявления информационных технологий создания и развития микропроцессорных измерительных систем;
- разработка аналитических методов автоматического контроля с алгоритмами определения влажности пробы древесины на известных характеристиках метода высушивания;
- проектирование универсальной архитектуры микропроцессорного анализатора влажности на уровне схем аппаратных средств и программного обеспечения;
- создание метрологических средств микропроцессорного анализатора влажности для оценки новой методики определения влажности пробы материала.

Методы исследования. В диссертационной работе использованы методы системного анализа, математического моделирования, технической кибернетики, схмотехники и метрологии.

Научная новизна полученных результатов определяется созданием новой методики экспресс-анализа влажности древесины, для которой предложены:

- метод определения влажности по кратным напряжениям через сопротивление свободной влаги с коррекцией сопротивления связанной влаги по образцам с известными характеристиками;
- метод определения влажности по кратным токам с линейным законом управления режимами экспресс-анализа влажности по параметрам ВАХ преобразователя на известных характеристиках метода высушивания;
- модель делителя тока для определения влажности древесины через сопротивление свободной влаги, позволившая повысить экспрессность, точность и расширить контролируемый диапазон влажности;
- модель градуировки для коррекции математического обеспечения определения влажности по

известным характеристикам метода высушивания.

Практическая ценность. На основании предложенной методики проектирования разработан микропроцессорный анализатор влажности «ТЕМП-283», повышающий точность измерений.

Для прибора разработаны: алгоритм функционирования, математическое и программное обеспечение, аппаратные и метрологические средства, позволившие снизить погрешность измерений и расширить диапазон контроля влажности при автоматизации и высокой экспрессности анализа влажности древесины.

Реализация и внедрение работы. Полученные результаты теоретических и экспериментальных работ автора нашли применение при использовании микропроцессорного анализатора влажности «ТЕМП-283» в ДОО «Жилищная инициатива» г. Тамбова, в учебном процессе на основании тематического плана кафедры «Электрооборудование и автоматизация» ТГТУ, на АОЗТ «Тамбовмебель», а также на ЗАО «Энергия».

Соискатель по данной работе стал лауреатом конкурса ТГТУ, дипломантом Всероссийского конкурса им. А.С. Попова на лучшую научную работу, стипендиатом правительства РФ и обладателем ежегодного областного гранта.

Апробация работы. Результаты работы докладывались на международных научно-практических семинарах и конференциях: «Проблемы энерго- и ресурсосбережения в промышленном и жилищно-коммунальном комплексах» (Пенза, 2001), «Современные системы управления предприятием» (Липецк, 2001), «Энергосбережение. Электроснабжение. Автоматизация» (Гомель, 2001), «Теплофизические измерения в начале XXI века» (Тамбов, 2001), на научных конференциях ТГТУ (Тамбов, 2001 – 2004), «Проблемы передачи и обработки информации в сетях и системах телекоммуникаций» (Рязань, 2001), на VI международной научно-технической конференции (Ульяновск, 2001), «Радиоэлектроника, радиотехника и энергетика» (Москва, 2003), «Новые информационные технологии в электротехническом образовании (НИТЭ-2003)» (Астрахань, 2003), «Метрология, стандартизация, сертификация и управление качеством продукции» (Тамбов, 2003), «Актуальные проблемы современной науки» (Самара, 2003), «Электроэнергетика, энергосберегающие технологии» (Липецк, 2004).

Публикации. Теоретические и практические результаты диссертации опубликованы в 26 печатных работах, включающих 13 статей, 1 патент и свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2004611396.

Структура и объем диссертационной работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка цитируемой литературы, включающего 112 наименований. Основная часть диссертации изложена на 149 страницах машинописного текста. Работа содержит 58 рисунков и 8 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, отражены цели и основные задачи. Сформулированы научная новизна и практическая ценность, приведены результаты апробации и реализации теоретических и практических исследований.

Первая глава посвящена анализу существующих методов контроля влажности для выявления информационной технологии создания и развития микропроцессорных измерительных систем.

Наиболее качественный контроль влажности в древесине осуществляется кондуктометрическими методами и методом высушивания, которые получили широкое применение в классической влагометрии.

В кондуктометрическом методе вольтамперометрии определение влажности осуществляется через электрическое сопротивление. Связь влаги с электрофизическими параметрами позволяет автоматизировать кондуктометрический метод и осуществить экспресс-анализ влажности в материале. Однако жесткий алгоритм и отсутствие параметров ВАХ преобразователя требуют непрерывной коррекции влажности на неперекрывающихся диапазонах по электрическому сопротивлению при высоких напряжениях. Наиболее точный контроль влаги в материале осуществляется методом высушивания, который заключается в воздушно-тепловой сушке образца материала до достижения равновесия с окружающей средой от нескольких часов до суток и более. Влажность W образца в данном методе определяется по зависимости:

$$W = \frac{M_{H_2O}}{M_{H_2O} + M_C}, \quad (1)$$

где M_{H_2O} – масса воды; M_C – масса сухого материала.

При высушивании величина влажности определяется с высокой точностью, поэтому метод высушивания целесообразен как эталон при создании метрологических средств микропроцессорных анализаторов влажности. Зависимость (1) не дает связи влаги с электрофизическими параметрами, что затрудняет повысить экспрессность метода высушивания.

В результате анализа методов определения влажности выявлено, что для автоматизации контроля широко применяем на практике кондуктометрический метод экспресс-анализа влажности, в котором определение влажности W осуществляется через электрическое сопротивление R_i на ограниченном диапазоне измерений в отличие от метода высушивания, принятого за эталон при создании метрологических средств микропроцессорных анализаторов влажности.

Рассмотрена современная информационная технология создания и развития микропроцессорных измерительных средств, основой которой является информационное обеспечение, представляющее интеграцию аппаратных и метрологических средств, математического и программного обеспечения информационных процессов измерительно-вычислительных систем.

Во второй главе приведено математическое моделирование контроля влажности пробы с метрологическими средствами оптимизации параметров древесины с заданной точностью относительно метода высушивания.

Для устранения выявленных недостатков анализируемых методов [гл. 1] проводится аппроксимация экспериментальных данных ВАХ преобразователя с использованием математической модели, подобной функции ВАХ полупроводникового материала. Предложен аналитический метод определения влажности древесины по кратным напряжениям ($U_2 = 2U_1$), который повышает точность и расширяет диапазон контроля при заданных метрологических характеристиках за счет использования параметров ВАХ преобразователя (тока, напряжения и сопротивления свободной влаги – I_d , U_d и R_d). Однако бинарная кратность напряжений, питающих измерительную ячейку, ограничивает контролируемый диапазон.

Влажность древесины определяют за счет измерения сопротивления свободной влаги исследуемого образца кондуктометрическим методом.

В данном методе осуществляют измерения сопротивления свободной влаги исследуемого образца, определение влажности по сопротивлению свободной влаги на первом образце с известной влажностью на одной из границ влажности материала за счет с известной влажностью

Прикладывают $U = U_1$ на измерительную последовательно

образцового сопротивления, напряжения на образцовом напряжении $U = U_2$ кратно меряют второй ток I_2 . По помощью вольт-амперной находят (рис. 2)

I_d для определения Измерения проводятся жании на материале изотропным с рав-номерным

ВАХ преобразователя с нелинейный характер (рис. напряжения U по описания ВАХ преобразова- модель, аналогичная ВАХ

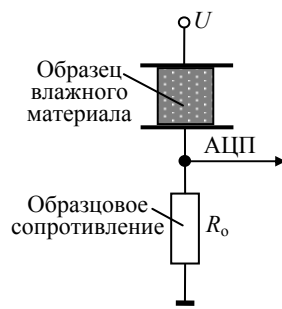


Рис. 1 Схема измерительной ячейки

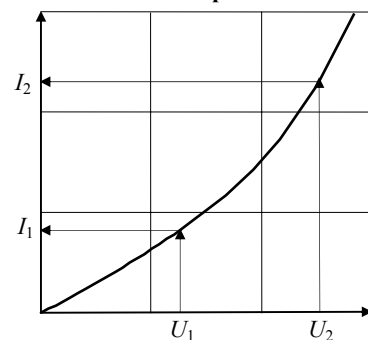


Рис. 2 ВАХ для влажного материала

диапазона и градуировку искомой измерения влажности на втором образце другой границы диапазона.

напряжение ячейку (рис. 1), состоящую из включенных влажного материала и определяют ток I_1 (рис. 2) из падения сопротивления. Затем изменяют двум от первоначального $U_2 = 2U_1$ и из двум напряжениям U_1 , U_2 и токам I_1 , I_2 с характеристики преобразователя сопротивление свободной влаги $R_d = U_d$ влажности материала.

при постоянной температуре и солесодер- (древесине), который считается распределением влаги.

пробой влажного материала имеет 2), а ток I изменяется в зависимости от экспоненциальному закону. Поэтому для теля используется математическая полупроводников, вида:

$$I = I_d \left(e^{\frac{U}{U_d}} - 1 \right), \quad (2)$$

где I_d – ток, обусловленный диффузией ионов свободной влаги через мембраны клеток материала, а U_d – падение напряжения на пробе материала, вызванное диффузией ионов свободной влаги через мембраны клеток (э.д.с., соответствующая току свободной влаги).

Сопротивление свободной влаги R_d определяют по закону Ома из математической модели ВАХ преобразователя (2), решив систему уравнений для напряжений U_1, U_2 по алгоритму

$$R_d = R_1 \frac{(I_{12} - 1)}{\ln(I_{12})}, \quad (3)$$

где $I_{12} = \frac{I_2}{I_1} - 1$ – функция отношения токов I_1, I_2 , измеренных на образцовом сопротивлении.

Сопротивление R_d свободной влаги не зависит от текущего напряжения U , приложенного на пробу исследуемого материала, в отличие от электрического сопротивления R_i , нелинейность которого относительно параметра ВАХ преобразователя R_d возрастает с увеличением текущего напряжения (рис. 3).

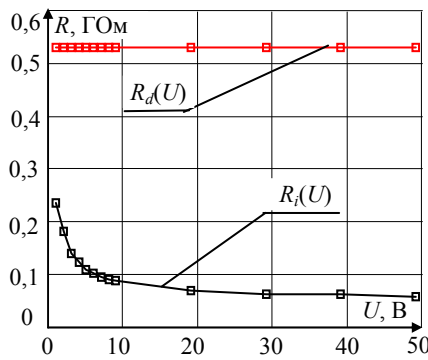


Рис. 3 Зависимости сопротивлений свободной влаги $R_d(U)$ и электрического $R_i(U)$ от напряжения для сосны

Для расширения контролируемого диапазона и повышения точности измерений разработан аналитический метод определения влажности древесины по кратным токам, согласно которому поставленная цель достигается заменой бинарности электрических характеристик управлением режимами измерений по линейному закону.

Алгоритм определения влажности по сопротивлению свободной влаги и ее градуировки подобен методу кратных

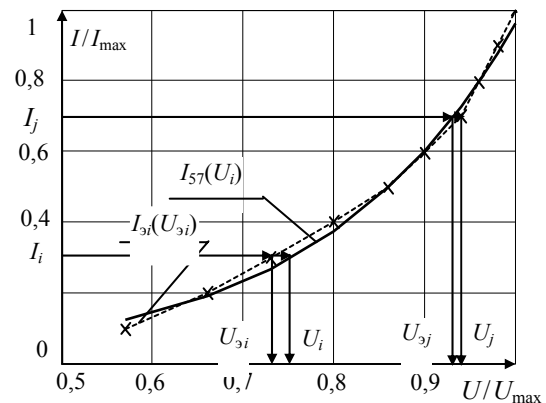


Рис. 4 ВАХ для $\{i, j\} = \{5, 7\}$

напряжений.

Через измерительную ячейку (рис. 1) устанавливают минимальный ток I_i , при котором возможно измерение падения напряжения на образце U_i с заданной погрешностью (рис. 4). Изменяют ток I_j по линейному закону $I_n = nI_1$ относительно первоначального, где n – номер эксперимента, и измеряют второе напряжение $U_j(I_j)$.

В частности для $U_i(I_i)$ линейный закон имеет вид $I_i = iI_1$, а для $U_j(I_j)$ $I_j = jI_1$, где $i = 1, j$ и $j = i, n$ – порядковые номера режима измерений. По двум токам и напряжениям, из модели ВАХ преобразователя (2), полученной по аналогии с зависимостью ВАХ полупроводников, находят ток I_d и напряжение U_d свободной влаги

$$U_d = \frac{U_i - U_j}{\ln\left(\frac{I_i + I_d}{I_j + I_d}\right)}; \quad I_d = \frac{I_i}{\left(\frac{I_i + I_d}{I_j + I_d}\right)^{\frac{U_i - U_j}{U_d}} - 1}. \quad (4)$$

Зависимость (4) относительно тока I_d , полученная в неявном виде, имеет решение только при численном моделировании итерационным алгоритмом последовательного приближения по относительному критерию оценки ε_0 соответствия последующего $I_{d_{k+1}}$ с предыдущим значением I_{d_k} ($k = \overline{1, m}$ – число итераций).

Определение сопротивления свободной влаги осуществлено по оптимальным режимным параметрам

рам на реализуемых образцах. Алгоритм сопоставляет экспериментальную и моделируемые ВАХ преобразователя для различных соотношений токов I_k относительно нормируемого тока I_3 с минимальной погрешностью по среднегеометрическому критерию оценки методом перебора.

Из рис. 4 видно оптимальное сближение кривых в режимных условиях $i = 5, j = 7$ из 50 парных выборок режимов измерений. Среднегеометрическое отклонение моделируемой $I_{57}(U_i)$ от экспериментальной $I_{5i}(U_{5i})$ ВАХ преобразователя в оптимальном режиме измерений ($i = 5, j = 7$) не более 2 %.

Определение влажности через сопротивление свободной влаги организуют по модели делителя токов на реализуемых образцах с известной влажностью границ диапазона.

Модель влажного материала определяет связь влаги и сопротивления свободной влаги. Влага, проникающая в пробу, обволакивает, проходя по капиллярам, структурные компоненты материала и вызывает уменьшение сопротивления.

Измерительный ток от приложенного на пробу напряжения проходит как по влаге, так и по структурным компонентам, что соответствует в схеме замещения измерительной ячейки делителю токов, состоящему из двух параллельно включенных сопротивлений (рис. 5). При этом ток через влагу определяется сопротивлением свободной влаги R_d , измеряемым по параметрам ВАХ преобразователя (4), а через структурные компоненты – сопротивлением связанной влаги R_m в материале, которое корректируют образцовым материалом (на пробе древесины с известным значением влажности по методу высушивания).

Связь влаги W_d с сопротивлением свободной влаги R_d исследуемого и сопротивлением связанной влаги R_m образцового материалов определяют по аналогии с зависимостью (1) метода высушивания электрофизической моделью делителя токов (рис. 6):

$$W_d = W_0 \frac{R_m}{R_d + R_m}, \quad (5)$$

где W_0 – постоянный коэффициент нормирования влаги относительно контролируемого диапазона и вида древесины, определяемый на образцах с известными характеристиками.

Адекватность модели делителя токов (5) зависимости (1) доказана аналитически из первого закона Кирхгофа через связь сопротивления влаги в исследуемом материале с его массой и объемом.

Для повышения точности организована градуировка влажности на материалах с известными характеристиками метода высушивания. При градуировке по двум материалам справедлива система из двух уравнений:

$$\begin{cases} W_{01} = a_0 + a_1 W_1; \\ W_{02} = a_0 + a_1 W_2, \end{cases} \quad (6)$$

где W_{01}, W_{02} – известные значения влажности для соответствующих границ диапазона, полученные по зависимости (1) методом высушивания [гл. 1]; W_1, W_2 – значения влажности, рассчитанные по зависимости делителя токов (5) для этих материалов.

Из системы уравнений (6), по известным и экспериментальным данным (W_{01}, W_{02}, W_1, W_2) вычисляют градуировочные коэффициенты a_0, a_1 :

$$a_0 = \frac{W_{02} W_1 - W_2 W_{01}}{W_1 - W_2}; \quad a_1 = \frac{W_{02} - W_{01}}{W_2 - W_1}. \quad (7)$$

Зная значения коэффициентов (7), определяют величину искомой влажности для пробы материала в заданном диапазоне $W_{01} - W_{02}$:



Рис. 5 Схема замещения измерительной ячейки:

R_d – сопротивление свободной влаги; R_m – сопротивление связанной влаги;
 R_p – полное сопротивление влаги

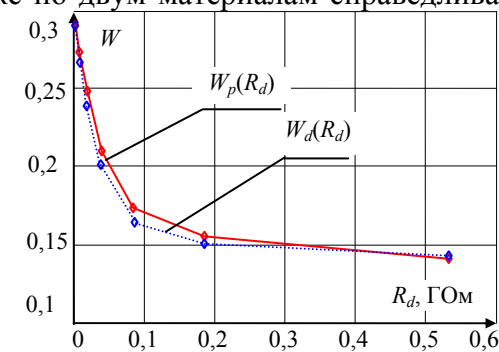


Рис. 6 Зависимости $W_p(R_d)$ и $W_d(R_d)$ из опыта и по зависимости делителя тока для сосны

$$W = a_0 + a_1 W_d, \quad (8)$$

где W – действительное значение влажности; W_d – значение влажности, определяемое по модели делителя токов (5); a_0, a_1 – градуировочные коэффициенты, рассчитанные из соотношений (7) на материалах с известными характеристиками метода высушивания.

Градуировка влажности (8), измеренной при помощи электрофизической модели делителя токов (5), по известным характеристикам метода высушивания позволяет устранить как аддитивные, так и мультипликативные составляющие статической погрешности (рис. 6), тем самым повысить точность контролируемых параметров.

Таким образом, предложен аналитический метод определения влажности по кратным напряжениям через сопротивление свободной влаги с коррекцией сопротивления связанной влаги на образцах с известными характеристиками метода высушивания. Разработан метод определения влажности по кратным токам с линейным законом управления режимами экспресс-анализа влажности по параметрам ВАХ преобразователя с заданной точностью относительно метода высушивания. Предложена модель делителя токов для определения влажности древесины через сопротивление свободной влаги с коррекцией сопротивления связанной влаги по образцам с известными характеристиками, позволившая повысить экспрессность, точность измерений и расширить контролируемый диапазон влажности.

В третьей главе описана архитектура микропроцессорного анализатора влажности «ТЕМП-283» на уровне структурной схемы аппаратных средств и блок-схемы программного обеспечения.

В структурной схеме (рис. 7) цифроаналоговый преобразователь (ЦАП), к которому подключен блок питания (БП), управляет работой преобразователя напряжения (ПН) за счет формирования выходного напряжения, пропорционального коду, выставляемому с персонального компьютера (ПК).

ПН формирует напряжение питания измерительной ячейки (ИЯ) (рис. 1) пропорционально напряжению на выходе ЦАП. Аналого-цифровой преобразователь (АЦП), выполненный на базе промышленного измерительного прибора Щ300, преобразует падение напряжения на образцовом сопротивлении ИЯ в цифровую форму данных. ПК управляет работой АЦП, селектором адреса (СА), ЦАП и мультиплексором (М), а также контролирует и анализирует влажность исследуемой пробы материала. Блок регистров (БР) получает сигнал отсчета, приходящий с АЦП, и хранит данные для считывания в ПК. М выполняет функцию синхронизации, т.е. позволяет 8 бит данных внести с БР

в ПК через стандартный LPT порт, где количество данных ограничено 4 битами. Управляемый с ПК блок СА выполняет функцию адресации, т.е. выборку регистра из БР, из которого будут считаны данные в ПК через М.

Программное обеспечение микропроцессорного анализатора влажности «ТЕМП-283» иллюстрирует блок-схема (рис. 8) автоматизации процессов управления и контроля анализа влажности исследуемой пробы материала.

Программное обеспечение микропроцессорного анализатора влажности «ТЕМП-283» иллюстрирует блок-схема (рис. 8) автоматизации процессов управления и контроля анализа влажности исследуемой пробы материала.

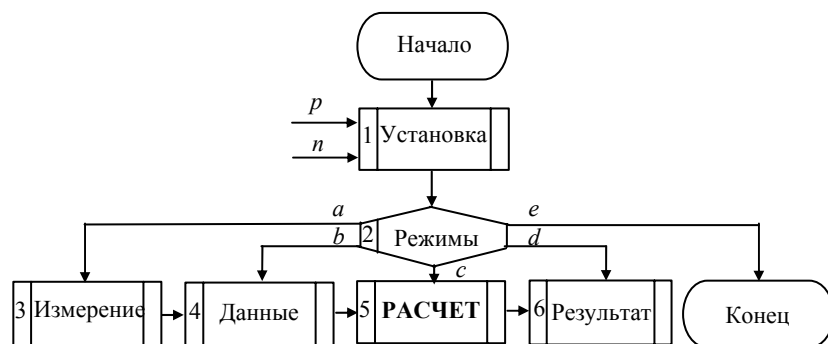


Рис. 8 Блок-схема программы микропроцессорного анализатора «ТЕМП-283»

В программе блок 1 (Установка) инициализирует начальные значения для расчетов, блок 2 (Режи-

мы) выбирает режим работы программы по адресам $\overline{a, e}$, в режиме a блок 3 (Измерение) подготавливает и проводит новый эксперимент, по адресу b блок 4 (Данные) сохраняет и открывает данные, блок 5 (Расчет) в режиме c обрабатывает данные эксперимента по инженерной методике экспресс-анализа влажности, при адресации d блок 6 (Результат) визуализирует результаты на дисплей компьютера и измерения заканчиваются при выборе режима e .

Работа программы начинается с открытием оконного класса и подключения программных модулей в блоке 1, после чего пользователь, через блок 2, выбирает режим работы. В блоке 3 осуществляется проверка готовности оборудования к снятию эксперимента. После ввода программных данных в блок 4, начинается снятие ВАХ за счет приема-передачи блоком 3 необходимых данных по параллельному порту (LPT) компьютера. Если пользователь желает прекратить испытания, то, после ввода в блок 4 текущей влажности материала, программа производит расчет влажности (блок 5) и выводит результат (блок 6) как в цифровом (таблица данных), так и в графическом виде (рисунки) на экран.

Разработанная программа отличается от аналогов гибким интерфейсом, возможностью задания различных условий проведения эксперимента, а также жестким контролем ошибок расчетов. Все это позволяет быстро и эффективно проводить эксперименты и расчеты, сохраняя необходимые данные.

Таким образом, разработана архитектура микропроцессорного анализатора влажности «ТЕМП-283» на уровне структурной схемы аппаратных средств и блок-схемы программного обеспечения, удовлетворяющая исходным требованиям по расширению диапазона контроля и заданной точности.

В четвертой главе доказываемая точность измерений микропроцессорного анализатора влажности «ТЕМП-283» в процессе метрологической оценки методов определения влажности по сопротивлению свободной влаги пробы материала относительно метода высушивания.

Точность метода кратных токов оценивают по величине нелинейности электрического сопротивления R_i ($i = \overline{1, n}$) относительно фиксированного сопротивления свободной влаги R_d . Согласно закону Ома, с учетом алгоритмов (4) и введенных обозначений для кратных токов $\frac{I_j}{I_i} = n$, принимая $\frac{I_i + I_d}{I_j + I_d} = m$,

оценка точности на всем диапазоне эксперимента имеет вид

$$\eta_R = \frac{R_d}{R_i} = \frac{1 - \frac{U_j}{U_i}}{\ln m} \left(m \frac{U_i}{U_i - U_j} - 1 \right). \quad (9)$$

Нелинейность η_R экспериментальных ВАХ преобразователя (9) характеризует точность измерений, так как $R_d = R_i \eta_R = \text{const}$ – является параметром, не зависящим от приложенного напряжения и токов ВАХ преобразователя (рис. 3). Нелинейность η_R компенсирует кривизну электрического сопротивления R_i и доказывает информативность параметра R_d для определения влажности.

В результате проведенного анализа получен коэффициент нелинейности k , характеризующий кривизну ВАХ преобразователя в заданных координатах контролируемого диапазона, при этом точность повышается в два раза на анализируемом участке ВАХ преобразователя с уменьшением текущего напряжения.

В диссертации доказано, что достоверность измерений в методе кратных токов при возрастании точек разбиения $n = 4 \dots 20$ увеличивается в $\eta_N = 2 \dots 10$ раз по отношению к методу кратных напряжений.

Для оценки кондуктометрических методов проведен сопоставительный анализ определения влажности через параметры ВАХ $R_d(W)$ по электрофизической модели (5) и по электрической зависимости $R_i(W)$, $i = \overline{1, 2}$ кондуктометрического метода. Контроль влажности по модели (5) осуществляется в рабочем диапазоне ($W_d = 10 \dots 30$ %) при напряжении $U = 2,5 \dots 5$ В (рис. 9), а в кондуктометрическом методе по статистическому алгоритму только кусочно в узких не перекрывающихся по электрическому сопротивлению диапазонах ($W_1 = 10 \dots 22$ % при $U_1 = 80$ В, $W_2 = 21 \dots 27$ % при $U_2 = 27$ В) (рис. 9). При этом наблюдаются неопределенность измерения влажности на поддиапазонах (W_1, W_2), в отличие от определения влажности (W_d) по модели (5), низкий уровень чувствительности электрофизических характеристик $R_i(W)$ и точность измерений.

Повышение сравнению с кондуктометрическим методом для диапазона $W_1 = 10...22\%$ выше в кондуктометрическом $W_2 = 21...27\%$ в $\eta_K =$ Доказано, что управление методом кратных напряжений, влажности при повышает почти на влажности и не менее контроля при стиках.

В результате дований методов сопротивления высушивания, доказана экспресс-анализа микропроцессорного который позволяет снизить в два раза погрешность измерений, расширить диапазон контроля в два раза при низких напряжениях с фиксированной точностью измерения, повысить вчетверо чувствительность электрофизических характеристик при использовании параметра ВАХ преобразователя R_d – сопротивления свободной влаги на всем диапазоне влажности по сравнению с неопределенным электрическим сопротивлением R_i кондуктометрического метода.

Проведена серия экспериментов на трех породах древесины: груша, береза, сосна. Полученные результаты удовлетворяют поставленным задачам.

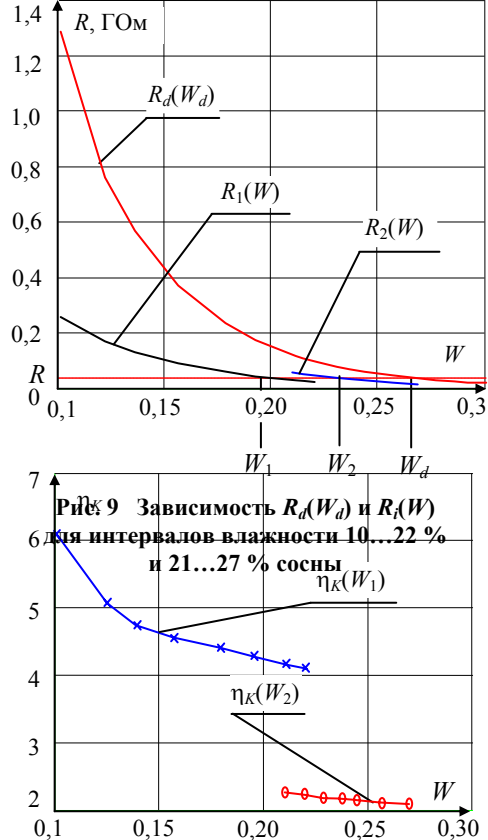


Рис. 10 Зависимость отношения чувствительностей η_K сопоставляемых методов от влажности W

точности метода кратных токов по тометрическим оценивается (рис. 10) чувствительностей η_K анализируемых характеристик. Из рис. 10 видно, что 10...22% чувствительность метода $\eta_K = 6,1...4,1$ раз по сравнению с методом, а при 2,3...2,1 раза.

благодаря линейному закону оптимальными режимами измерений, токов, в отличие от метода бинарных позволяет гибко проводить измерения стабилизации текущего тока, что порядок достоверность измерений чем в два раза расширяет диапазон заданных метрологических характери-

проведенных метрологических исследований определения влажности через свободной влаги относительно метода эффективности использования для влажности древесины анализатора влажности «ТЕМП-283»,

проведенных метрологических исследований определения влажности через свободной влаги относительно метода эффективности использования для влажности древесины анализатора влажности «ТЕМП-283»,

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1 Анализ методов контроля влажности выявил как наилучший для автоматизации измерений статический кондуктометрический метод экспресс-анализа влаги в материале.

2 Предложен метод определения влажности по кратным напряжениям через сопротивления свободной влаги с коррекцией сопротивления связанной влаги по образцам с известными характеристиками.

3 Разработан метод определения влажности по кратным токам с линейным законом управления режимами экспресс-анализа влажности по параметрам ВАХ преобразователя на известных характеристиках метода высушивания.

4 Предложена модель делителя токов для определения влажности древесины через сопротивление свободной влаги с коррекцией сопротивления связанной влаги по образцам с известными характеристиками, позволившая повысить экспрессность, точность измерений и расширить контролируемый диапазон влажности.

5 Разработана архитектура микропроцессорного анализатора влажности «ТЕМП-283» на базе аналитической методики экспресс-анализа влажности по параметрам ВАХ преобразователя, который удовлетворяет исходным требованиям по расширению контролируемого диапазона и заданной точности.

6 Предложены метрологические средства микропроцессорного анализатора влажности «ТЕМП-283», которые наглядно показывают эффективность его использования для экспресс-анализа влажности древесины, позволяющего, в отличие от известных решений, снизить в два раза погрешность измерений, расширить вдвое диапазон контроля с фиксированной точностью измерения и повысить вчетверо чувствительность электрофизических характеристик.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

- 1 Ныркова О. А. Методика определения информативных параметров для метрологического обеспечения теплофизических исследований / О. А. Ныркова // Вестник ТГТУ. – 2002. – Т. 7, № 4. – С. 569 – 572.
- 2 Ныркова О. А. Информационный анализ развития способов аналитического контроля влажности древесины / О. А. Ныркова, Л. А. Ныркова, Е. И. Глинкин // Контроль. Диагностика. – 2003. – № 6. – С. 24 – 31.
- 3 Ныркова О. А. Моделирование статических характеристик аналитического контроля / О. А. Ныркова // Труды ТГТУ: Сб. науч. ст. молодых ученых и студентов. – Тамбов, 2001. – № 9. – С. 63 – 68.
- 4 Ныркова О. А. Определение информативного параметра влажности / О. А. Ныркова, И. Г. Летягин, А. Ю. Брусенцов, Л. А. Ныркова // Труды ТГТУ: Сб. науч. ст. молодых ученых и студентов. – Тамбов, 2000. Вып. 5. – С. 108 – 112.
- 5 Ныркова О. А. Исследование ВАХ в аналитическом контроле / О. А. Ныркова // VI науч. конф. ТГТУ: Сб. тез. докл. – Тамбов, 2000. – С. 260.
- 6 Ныркова О. А. Методика определения информативных параметров для метрологического обеспечения теплофизических исследований / О. А. Ныркова // Теплофизические измерения в начале XXI века: Сб. тез. докладов международной теплофизической школы. – Тамбов, 2001. – Ч. 1. – С. 167 – 168.
- 7 Ныркова О. А. Эффективность способа контроля влажности по токам / О. А. Ныркова, К. Н. Филиппов, К. А. Шульгин // VIII научная конференция ТГТУ: Сб. тез. докл. – Тамбов, 2003. – С. 157 – 158.
- 8 Ныркова О. А. Информационные технологии определения влажности / О. А. Ныркова, Е. И. Глинкин // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: Сб. тез. докл. IX междунар. науч.-техн. конф. – М., 2003. – Т. 1. – С. 406 – 407.
- 9 Ныркова О. А. Информационная технология микропроцессорных измерительных систем / О. А. Ныркова, Л. А. Ныркова // Актуальные проблемы современной науки: Сб. трудов IV междунар. науч. конф. – Самара, 2003. – С. 16 – 18.
- 10 Ныркова О. А. Микропроцессорный анализатор влажности по вольт-амперным характеристикам древесины / О. А. Ныркова // Новые информационные технологии в электротехническом образовании (НИТЭ-2003): Сб. трудов IV междунар. науч.-метод. конф. – Астрахань, 2003. – С. 286 – 290.
- 11 Ныркова О. А. Метрологический анализ способа определения влажности по токам / О. А. Ныркова, К. А. Шульгин, А. В. Сычков // Метрология, стандартизация, сертификация и управление качеством продукции: Сб. тез. докл. междунар. школы-семинара молодых ученых. – Тамбов, 2003. – С. 148 – 150.
- 12 Ныркова О. А. Архитектура микропроцессорного анализатора влажности «ТЕМП-283» / О. А. Ныркова, К. А. Шульгин, К. Н. Филиппов // Труды ТГТУ: Сб. науч. ст. молодых ученых и студентов. – Тамбов, 2003. – Вып. 13. – С. 177 – 181.
- 13 Ныркова О. А. Моделирование статических характеристик оптимального управления электрооборудованием / О. А. Ныркова, Л. А. Ныркова // Энергосбережение. Электроснабжение. Автоматизация: Сб. тез. междунар. науч.-техн. конф. – Гомель, 2001. – С. 35 – 36.
- 14 Ныркова О. А. Оценка стабилизации вольт-амперных характеристик в кондуктометрии / О. А. Ныркова, Л. А. Ныркова // Электроэнергетика, энергосберегающие технологии: Сб. докл. Всерос. науч.-техн. конф. – Липецк, 2004. – С. 204 – 205.
- 15 Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2004611396. Программное обеспечение микропроцессорного анализатора влажности древесины по вольт-амперным характеристикам (Микропроцессорный анализатор влажности) / Е. И. Глинкин, О. А. Ныркова, В. Ф. Калинин, К. А. Шульгин. М.: РОСПАТЕНТ, 2004.
- 16 Пат. 2187098 РФ. МКИ G 01 N 27/04. Способ для определения влажности капиллярно-пористых

материалов / Е. И. Глинкин, Л. А. Ныркова, О.А. Ныркова, И. Г. Летягин, В. Ф. Калинин. Бюл. № 22, 2002.